

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-136125

(43)Date of publication of application : 18.05.2001

(51)Int.Cl. H04B 10/02  
H04B 10/18  
H04B 10/17  
H04B 10/16

(21)Application number : 11-318894

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 09.11.1999

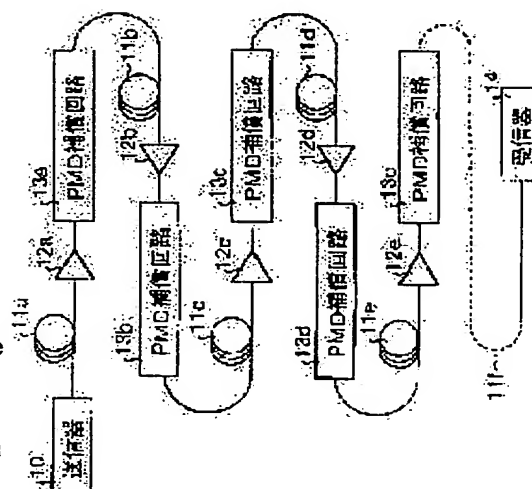
(72)Inventor : SUGIHARA TAKASHI  
MOTOJIMA KUNIAKI

## (54) OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical transmission system that reproduces an optical signal waveform through sure PMD compensation and reduces the configuration for the PMD compensation.

SOLUTION: The optical transmission system is provided with PMD compensation circuits 13a-13e that apply polarized wave mode dispersion compensation for every one or more relay spans in an optical transmission line 11 having one or more optical amplification repeaters 12a-12e so as to compensate the polarized wave mode dispersion caused between relay span optical transmission lines. Since power combination between the polarized wave modes is small between the relay span optical transmission lines and only the polarized wave mode dispersion to a degree of neglecting the effect of a nonlinear optical effect takes place, the polarized wave mode dispersion can surely be compensated.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

07.09.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-136125  
(P2001-136125A)

(43) 公開日 平成13年5月18日 (2001.5.18)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 4 B 10/02  
10/18  
10/17  
10/16

識別記号

F I

H 0 4 B 9/00

テームコード (参考)

M 5 K 0 0 2  
J

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号

特願平11-318894

(22) 出願日

平成11年11月9日 (1999.11.9)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 杉原 隆嗣

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 本島 邦明

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明

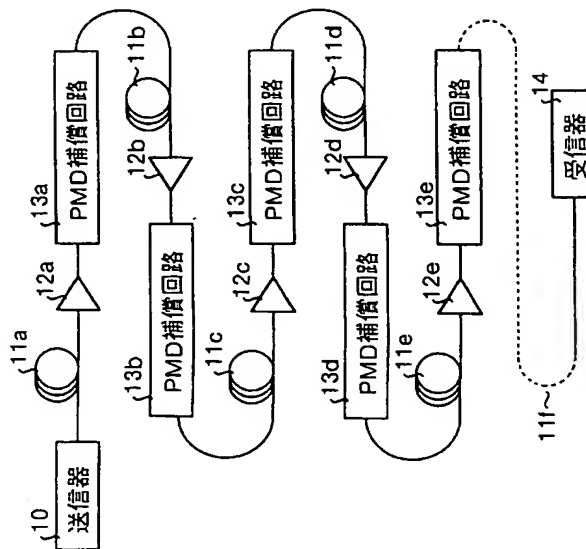
Fターム (参考) 5K002 AA06 BA02 CA01 CA13 DA02  
FA01

(54) 【発明の名称】 光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 確実にPMD補償を行って光信号波形の再現を行うことができ、かつPMD補償のための構成を小型化すること。

【解決手段】 1以上の光増幅中継器12a~12eを有した光伝送路11上における1以上の中継スパン毎に偏波モード分散補償を行うPMD補償回路13a~13eを設け、中継スパンの光伝送路間において生じた偏波モード分散の補償を行う。中継スパンの光伝送路間は、偏波モード間のパワー結合が小さく、また非線形光学効果の影響を無視できる程度の偏波モード分散が生ずるのみであるので、確実に偏波モード分散の補償を行うことができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光送信器と光受信器との間の光伝送路上に 1 以上の光増幅中継器を有した光伝送システムにおいて、

1 以上の中継スパン毎に偏波モード分散補償を行う補償手段を備えたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 2】 光送信器と光受信器との間の光伝送路上に 1 以上の光増幅中継器を有した光伝送システムにおいて、

偏波モード間の結合度合いに応じた偏波モード分散補償が可能な光伝送路距離範囲毎に偏波モード分散補償を行う補償手段を備えたことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 3】 前記補償手段は、

入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャンネル毎に分波する波長分波器と、

前記波長分波器によって分波された光信号に対する偏波モード分散補償を行う偏波モード分散補償手段と、

前記偏波モード分散補償手段によって補償された各波長毎もしくは各チャンネル毎の光信号を合波して出力する波長合波器と、

を備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 4】 前記補償手段は、

入力された光波長多重信号を所定波長もしくは所定チャンネル毎のブロック単位に分波する波長分波器と、

前記波長分波器によって分波された各ブロック単位の光信号に対する偏波モード分散補償を行う偏波モード分散補償手段と、

前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力する波長合波器と、

を備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 5】 前記補償手段は、

入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャンネル毎に分波する波長分波器と、

前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャンネル毎の光信号を所定ブロック毎に合波する第 1 の波長合波器と、

前記第 1 の波長合波器によって合波された光信号に対する偏波モード分散補償を行う偏波モード分散補償手段と、

前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力する第 2 の波長合波器と、

を備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 6】 前記第 1 の波長合波器は、前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャンネル毎の光信号のうち同一偏波方向をもつ光信号を所定ブロック毎に合波することを特徴とする請求項 5 に記載の光伝送

システム。

【請求項 7】 前記補償手段は、

入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャンネル毎に分波する波長分波器と、

前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャンネル毎の光信号のうち互いに直交する偏光光をもつ光信号を所定ブロック毎に合波する偏波合成手段と、

前記偏波合成手段によって合波された光信号に対する偏波モード分散補償を行う偏波モード分散補償手段と、

前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力する第 2 の波長合波器と、

を備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光伝送システム。

【請求項 8】 前記光伝送路の終端または終端近傍に前記補償手段をさらに設けたことを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか一つに記載の光伝送システム。

【請求項 9】 前記光伝送路の送信端または送信端近傍に、前記光伝送路の終端における光信号の品質劣化が最小となる偏波面をもつ光信号が入力されるように調整する偏波調整手段をさらに設けたことを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか一つに記載の光伝送システム。

【請求項 10】 前記補償手段内を構成する波長分波器、第 1 の波長合波器、第 2 の波長合波器、波長合波器、偏波モード分散補償手段との間を偏波面保持光ファイバで接続したことを特徴とする請求項 3 ～ 9 のいずれか一つに記載の光伝送システム。

【請求項 11】 各前記補償手段または各前記偏波モード分散補償手段は、偏波モード分散量に対応する光遅延差を補正する光学系を備え、

前記光受信器は、

当該光受信器における偏波モード分散量を検出する検出手段と、

前記検出手段によって検出された偏波モード分散量を用いて各前記光学系を制御する複数の制御手段と、

を備えたことを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか一つに記載の光伝送システム。

【請求項 12】 後段の光増幅中継器における光増幅用励起レーザの偏光方向に対応する最適な偏光方向をもつ光信号に調整して前記後段の光増幅中継器に偏波合成出力する光増幅用偏波調整手段をさらに備え、前記光増幅用偏波調整手段から入力される最適な偏光方向をもつた光信号によって少なくとも前記後段の光増幅中継器の光増幅を最適動作させることを特徴とする請求項 1 ～ 11 に記載の光伝送システム。

【請求項 13】 前記光増幅用偏波調整手段は、前記補償手段の後段に接続したことを特徴とする請求項 12 に記載の光伝送システム。

【請求項 14】 前記光伝送路上に、少なくとも前記光受信器に入力される光信号の品質劣化が最小となる偏波

面をもつ光信号が入力されるように該入力される光信号の偏波面を調整する最小PMD設定用偏波調整手段をさらに設けたことを特徴とする請求項1～11のいずれか一つに記載の光伝送システム。

【請求項15】 前記補償手段は、光増幅中継器内に組み込まれたことを特徴とする請求項1～14に記載の光伝送システム。

【請求項16】 前記補償手段は、前記光受信器内に組み込まれたことを特徴とする請求項1～15に記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、超高速超長距離光伝送を行う際に伝送信号の品質を劣化させる偏波モード分散特性を補償する機能を有した光伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 異なる屈折率をもつ物質中を光が進むとき、この屈折率の大小によって、物質中における光の伝搬速度が異なる。また、入射光の偏波方向が異なる場合、屈折率の異なる材料（異方性材料）中における光の伝搬は、材料中における偏波の状態に応じ、材料通過後の遅延時間が異なるという現象を生じさせる。ここで、材料中における各固有偏波方向に偏光した光に生じる遅延時間差を偏波モード分散（以下、「PMD」（Polarization Mode Dispersion）という。）と呼ぶ。

【0003】 一般に、光伝送路で用いられるシングルモードファイバは、その長手方向に沿って局所的にわずかな異方性が生じている。したがって、このような異方性を有するファイバ中を光が伝搬すると、光信号は、この異方性が生じている箇所において、光信号が有する偏波方向に依存した遅延差が生じる。この偏波の違いによる遅延差が光伝送路内で蓄積されると、受信端における信号波形の劣化を引き起こすことになる。

【0004】 図14は、パルス幅がパルス間隔に等しいNRZ（Non-Return to Zero）信号の光伝送における1dBペナルティを引き起こす光伝送路のPMDの大きさと光伝送速度（ビットレート）との関係を示す図である。この図14に示す関係は、文献「偏波モード分散による光システムのフェージング（Fading in Lightwave Systems Due to Polarization-Mode Dispersion）」（C. D. Poole, R. W. Tkach, A. R. Chraplyvy, and D. A. Fishman 著、IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 3, No. 1, January 1991, pp. 68-70）に記載された関係式をもとに作成したものである。

【0005】 すなわち、上記文献には、パワーペナルティが1dB劣化する時のPMDの大きさ $\Delta\tau$ と、NRZ信号のパルス幅 $T$ （ $=1/B$ ：「 $B$ 」はビットレートである）との関係を、次式（1）として示している。すなわち、

$$\Delta\tau/T \approx 0.4 \dots (1)$$

としている。この式（1）をもとに、パワーペナルティが1dB劣化する時のPMDの大きさ $\Delta\tau$ と、NRZ信号のビットレート $B$ との関係を求めると、図14に示す結果となる。この結果、たとえば、40Gbit/sのNRZ信号を光伝送する場合、光伝送路のもつPMDを10ps以下に抑えなければならないことがわかる。

【0006】 一方、現実の光伝送路は、低PMDのファイバであっても平均0.1ps/√(km)程度のPMDを有する。このことは、10000km伝送後に10ps程度のPMDが生じることを示す。さらに、光伝送路内におけるPMDは、その大きさが時間的に変動するという特性をもつ。したがって、光ファイバを敷設した後、PMDの時間的な変動に応じたPMD補償を行う必要がある。

【0007】 このPMD補償を行うためには、たとえば図15に示したPMD補償回路が用いられる。図15において、送信器10から送信された光信号は光伝送路11を伝搬する間に、PMDによる波形歪を受け、受信器14に入力される直前の光伝送路11上の光信号から、光タップ24を用いて一部の光信号を取り出し、PMD検出器23によってPMDを検出する。PMD検出器23によって検出されたPMDの値は、制御回路22に入力され、制御回路22は、入力されたPMDの値に対する補償量を決定し、PMD補償光回路21に出力する。PMD補償光回路21は、光伝送路11上の光信号のPMDを補償し、下流の光伝送路11上に出力する。この結果、受信器14は、PMDが補償された光信号を受信することになる。

【0008】 なお、特開平7-231297号公報には、光伝送路内に挿入されてPMDを補償する偏波モード分散補償装置が記載されている。この偏波モード分散補償装置では、PMDを受けた光信号を等化光回路を介して受信し、一度符号列を識別して、識別前後の信号を比較することで、その差信号を得て、整流、積分することで等化誤差信号を生成し、等化光回路のパラメータを少し変化させて等化誤差信号が減少する方向を見つけ、制御ループによってパラメータ制御を繰り返すことで、自動的に等化誤差信号が最小となる状態に迫り込み、これによって光信号のPMDによる信号品質劣化が最小となるようにしている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、光伝送路11上における各偏波モード間の結合が小さく、また光伝送路11上における非線形光学効果の影響が小さい状態であれば、図15に示したように、受信器14の直前におけるPMDの一括補償を行うことができるが、偏波モード間の結合が大きく、また非線形光学効果の影響が無視できない状態である場合では、光伝送路11上においてPMDによる偏波モード間の遅延差が一度でも生じる

と、それぞれの偏波モードが受ける非線形光学効果の大きさが異なり、さらに偏波モード間におけるパワーの結合が生じることから、各偏波モードの光信号波形は互いに異なったものとなり、受信器 14 の直前において一括した PMD 補償を行っても、もはや光信号波形の再現を行うことが困難になるという問題点があった。

【0010】また、光信号が光波長多重信号である場合には、波長多重数に応じた数の PMD 補償回路を設ける必要があるため、この PMD 補償回路の小型化が要望されていた。

【0011】この発明は上記に鑑みてなされたもので、確実に PMD 補償を行って光信号波形の再現を行うことができ、かつ PMD 補償のための構成を小型化することができる光伝送システムを得ることを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明にかかる光伝送システムは、光送信器と光受信器との間の光伝送路上に 1 以上の光増幅中継器を有した光伝送システムにおいて、1 以上の中継スパン毎に偏波モード分散補償を行う補償手段を備えたことを特徴とする。

【0013】この発明によれば、1 以上の光増幅中継器を有した光伝送路上における 1 以上の中継スパン毎に偏波モード分散補償を行う補償手段を設け、中継スパンの光伝送路間において生じた偏波モード分散の補償を行う。中継スパンの光伝送路間は、偏波モード間のパワー結合が小さく、また非線形光学効果の影響を無視できる程度の偏波モード分散が生ずるのみであるので、確実に偏波モード分散の補償を行うことができる。

【0014】つぎの発明にかかる光伝送システムは、光送信器と光受信器との間の光伝送路上に 1 以上の光増幅中継器を有した光伝送システムにおいて、偏波モード間の結合度合いに応じた偏波モード分散補償が可能な光伝送距離範囲毎に偏波モード分散補償を行う補償手段を備えたことを特徴とする。

【0015】この発明によれば、補償手段を、偏波モード間の結合度合いに応じた偏波モード分散補償が可能な光伝送距離範囲毎に設け、光伝送路上に生じた偏波モード分散の補償を行い、確実に偏波モード分散の補償を行うようにしている。

【0016】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記補償手段は、入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャネル毎に分波する波長分波器と、前記波長分波器によって分波された光信号に対する偏波モード分散補償を行う偏波モード分散補償手段と、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号を合波して出力する波長合波器と、を備えたことを特徴とする。

【0017】この発明によれば、波長分波器が、入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャネル毎に

分波し、偏波モード分散補償手段が、前記波長分波器によって分波された光信号に対する偏波モード分散補償を行い、波長合波器が、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号を合波して出力し、光波長多重信号の偏波モード分散補償を行う。

【0018】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記補償手段は、入力された光波長多重信号を所定波長もしくは所定チャネル毎のブロック単位に分波する波長分波器と、前記波長分波器によって分波された各ブロック単位の光信号に対する偏波モード分散補償を行う偏波モード分散補償手段と、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力する波長合波器と、を備えたことを特徴とする。

【0019】この発明によれば、波長分波器が、入力された光波長多重信号を所定波長もしくは所定チャネル毎のブロック単位に分波し、偏波モード分散補償手段が、前記波長分波器によって分波された各ブロック単位の光信号に対する偏波モード分散補償を行い、波長合波器が、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力し、光波長多重信号の偏波モード分散補償を行う。

【0020】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記補償手段は、入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャネル毎に分波する波長分波器と、前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号を所定ブロック毎に合波する第 1 の波長合波器と、前記第 1 の波長合波器によって合波された光信号に対する偏波モード分散補償を行う偏波モード分散補償手段と、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力する第 2 の波長合波器と、を備えたことを特徴とする。

【0021】この発明によれば、波長分波器が、入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャネル毎に分波し、第 1 の波長合波器が、前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号を所定ブロック毎に合波し、偏波モード分散補償手段が、前記第 1 の波長合波器によって合波された光信号に対する偏波モード分散補償を行い、第 2 の波長合波器が、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力し、光波長多重信号の偏波モード分散補償を行う。この場合、第 1 の波長合波器は、波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号のうちの任意の組合せをもった波長あるいはチャネルをまとめてブロック化して合波することができ、たとえば、隣接しない波長あるいはチャネルどうしをブロック化することができる。

【0022】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上

10

20

30

40

50

記の発明において、前記第 1 の波長合波器は、前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号のうち同一偏波方向をもつ光信号を所定ブロック毎に合波することを特徴とする。

【0023】この発明によれば、第 1 の波長合波器が、波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号のうち同一偏波方向をもつ光信号を所定ブロック毎に合波し、この所定ブロック単位で偏波モード分散補償を行うようにしている。

【0024】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記補償手段は、入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャネル毎に分波する波長分波器と、前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号のうち互いに直交する偏光をもつ光信号を所定ブロック毎に合波する偏波合成手段と、前記偏波合成手段によって合波された光信号に対する偏波モード分散補償を行う偏波モード分散補償手段と、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力する第 2 の波長合波器と、を備えたことを特徴とする。

【0025】この発明によれば、波長分波器が、入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャネル毎に分波し、偏波合成手段が、前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号のうち互いに直交する偏光をもつ光信号を所定ブロック毎に合波し、偏波モード分散補償手段が、前記偏波合成手段によって合波された光信号に対する偏波モード分散補償を行い、第 2 の波長合波器が、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力し、光波長多重信号の偏波モード分散補償を行う。この場合、偏波合成手段は、直交する偏光方向をもった波長あるいはチャネル構成をもった光波長多重信号が入力される場合、直交する偏光方向をもった波長あるいはチャネルどうしにブロック化し、それぞれ偏波合成を行う。

【0026】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記光伝送路の終端または終端近傍に前記補償手段をさらに設けたことを特徴とする。

【0027】この発明によれば、補償手段を光伝送路の終端または終端近傍、すなわち、光受信器の直前に設け、最終的に残った偏波モード分散を補償する。

【0028】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記光伝送路の送信端または送信端近傍に、前記光伝送路の終端における光信号の品質劣化が最小となる偏波面をもつ光信号が入力されるように調整する偏波調整手段をさらに設けたことを特徴とする。

【0029】この発明によれば、偏波調整手段が、前記光伝送路の送信端または送信端近傍に設けられ、光伝送路の終端における光信号の品質劣化が最小となる偏波面をもつ光信号が入力されるように調整するようにしてい

る。

【0030】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記補償手段内を構成する波長分波器、第 1 の波長合波器、第 2 の波長合波器、波長合波器、偏波モード分散補償手段との間を偏波面保持光ファイバで接続したことを特徴とする。

【0031】この発明によれば、補償手段内を構成する波長分波器、第 1 の波長合波器、第 2 の波長合波器、波長合波器、偏波モード分散補償手段との間を偏波面保持光ファイバで接続し、補償手段内の各光学部品間の偏波を保持するようにしている。

【0032】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、各前記補償手段または各前記偏波モード分散補償手段は、偏波モード分散量に対応する光遅延差を補正する光学系を備え、前記光受信器は、当該光受信器における偏波モード分散量を検出する検出手段と、前記検出手段によって検出された偏波モード分散量を用いて各前記光学系を制御する複数の制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0033】この発明によれば、光受信器が、検出手段によって当該光受信器における偏波モード分散量を検出し、複数の制御手段が、前記検出手段によって検出された偏波モード分散量を用い、各補償手段または各偏波モード分散補償手段の光学系による前記偏波モード分散量に対応する光遅延差を補正するようにし、光伝送路上に配置される各補償手段または各偏波モード分散補償手段の構成を小型化かつ簡易にする。

【0034】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、後段の光増幅中継器における光増幅用励起レーザの偏光方向に対応する最適な偏光方向をもつ光信号に調整して前記後段の光増幅中継器に偏波合成出力する光増幅用偏波調整手段をさらに備え、前記光増幅用偏波調整手段から入力される最適な偏光方向をもつ光信号によって少なくとも前記後段の光増幅中継器の光増幅を最適動作させることを特徴とする。

【0035】この発明によれば、光増幅用偏波調整手段が、後段の光増幅中継器における光増幅用励起レーザの偏光方向に対応する最適な偏光方向、たとえば後段の光増幅器に用いられる励起用光レーザの偏光方向に直交する偏波方向をもつ光信号に調整して前記後段の光増幅中継器に偏波合成出力し、該光増幅用偏波調整手段から入力される最適な偏光方向をもつ光信号によって少なくとも後段の光増幅中継器の光増幅を最適動作させるとともに、後段の光伝送路において PMD の影響が小さくできるような偏光方向に選択調整可能なようにしている。

【0036】つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記光増幅用偏波調整手段は、前記補償手段の後段に接続したことを特徴とする。

【0037】この発明によれば、光増幅用偏波調整手段が、補償手段の後段に接続され、PMD 補償された光信

10

20

30

40

50

号を偏波面調整することによって直ちに最適な偏光方向をもった光信号に調整して出力するようにしている。

【0038】 つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記光伝送路上に、少なくとも前記光受信器に入力される光信号の品質劣化が最小となる偏波面をもつ光信号が入力されるように該入力される光信号の偏波面を調整する最小PMD設定用偏波調整手段をさらに設けたことを特徴とする。

【0039】 この発明によれば、最小PMD設定用偏波調整手段が光伝送路上に設けられ、少なくとも光受信器に入力される光信号の品質劣化が最小となる偏波面をもつ光信号が入力されるように該入力される光信号の偏波面を調整するようにしている。

【0040】 つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記補償手段は、光増幅中継器内に組み込まれたことを特徴とする。

【0041】 この発明によれば、補償手段を光増幅中継器内、特に光増幅器内に組み込むようにし、補償手段および光増幅中継器のそれぞれに要求される耐圧性能、耐水性能等の耐環境構成をひとつの構成としてまとめるようにしている。

【0042】 つぎの発明にかかる光伝送システムは、上記の発明において、前記補償手段は、前記光受信器内に組み込まれたことを特徴とする。

【0043】 この発明によれば、補償手段を光受信器内、特に光増幅器内に組み込むようにし、光受信器に入力された光信号のPMDを補償し、この光信号のPMDによる光信号の品質劣化を最終的に抑えるようにしている。

【0044】

【発明の実施の形態】 以下に添付図面を参照して、この発明にかかる光伝送システムの好適な実施の形態を詳細に説明する。

【0045】 実施の形態1. まず、この発明の実施の形態1について説明する。図1は、この発明の実施の形態1である光伝送システムの全体構成を示す図である。図1において、この光伝送システムは、光信号を送信する送信器10と、この光信号を受信する受信器14とを有する。送信器10と受信器14との間は、光ファイバによる光伝送路11（11a～11f）によって接続され、光伝送路11上には、複数の光中継増幅器12a～12eと複数のPMD補償回路13a～13eとが設けられる。複数の光中継増幅器12a～12eは、入力された光信号を増幅し、複数のPMD補償回路13a～13eは、光信号中のPMDを補償する。光中継増幅器12a～12eとの間の各距離は、中継スパンであり、図1に示した複数のPMD補償回路13a～13eは、各中継スパン内にそれぞれ一つ設けられている。

【0046】 図2は、PMD補償回路13aの構成を示すブロック図である。図2において、PMD補償回路1

3aの光タップ24は、光伝送路11b上の光信号の一部を取り出し、PMD検出器23は、光タップ24によって取り出した光信号をもとにPMDによる波形劣化を検出し、PMD波形歪に対する補償量を制御回路22に送出する。制御回路22は、入力された補償量をもとに、光伝送路11aから入力される光信号のPMD波形歪を補償させる指示情報をPMD補償光回路21に出力する。PMD補償光回路21は、この指示情報をもとにPMD波形歪の補償を行う。このPMD波形歪の補償が行われた光信号は、光伝送路11b上へ送出され、光タップ24による光信号の一部取り出しによるフィードバック制御が実行される。なお、その他のPMD補償回路13b～13eは、PMD補償回路13aと同一構成である。

【0047】 さらに、図3は、PMD補償回路13aの詳細構成を示す図である。図3において、偏波調整部26、偏光ビームスプリッタ27a、27bおよび遅延光学系27cは、図2に示したPMD補償光回路21に相当する。また、制御回路22a、22bは、制御回路22に相当する。図3において、偏波調整部26は、光伝送路11から入力される、PMD歪みを受けた光信号の偏光状態を最適にする。すなわち、偏波調整部26は、光信号の各固有偏波モード成分のうち、PMDによる時間遅延が生じた偏波モード成分が偏光ビームスプリッタ27aによって遅延光学系27cに分離されるように偏波面を回転調整し、偏光ビームスプリッタ27aに出力する。

【0048】 偏光ビームスプリッタ27aは、PMDによる時間遅延を補償するため、各固有偏波モード成分である、偏光11と偏光12の光信号に分離する。たとえば、光伝送路で受けたPMDによって、相対的に偏光11の光信号が、偏光12の光信号に比べて $\Delta\tau$ だけの時間遅延が生じているものとする。偏光11の光信号成分は、遅延光学系27cに出力され、偏光12の光信号成分は、そのまま偏光ビームスプリッタ27bに出力される。遅延光学系27cは、制御回路22aの制御のもとに、入力された偏光11の信号光を、PMDによって生じた、偏光11と偏光12の光信号間の遅延差 $\Delta\tau$ だけ遅延して、偏光ビームスプリッタ27bに出力する。

【0049】 この遅延差 $\Delta\tau$ は、主として、遅延光学系27c内のミラーm1、m2の距離を調整し、偏光11の光信号の往復時間を変えることによって設定される。このミラーm1、m2間の距離は、制御回路22aによって行われる。PMD検出器23は、光タップ24を介して取り出した光信号の一部をもとにPMDによる波形劣化を検出し、PMD波形歪に対する補償量を算出し、この補償量を制御回路22a、22bに送出する。制御回路22aは、入力された補償量に相当する遅延差 $\Delta\tau$ を求め、この遅延差 $\Delta\tau$ に相当するミラーm1、m2間の距離を算出し、この算出した距離となるようにミラー

m 2 を移動させる。一方、制御回路 22 b は、PMD 波形歪みが最小になるように、偏波調整部 26 に対して、偏波面調整を行わせ、偏光ビームスプリッタ 27 a による二つの固有偏波モードである偏光 11 の信号光と偏光 12 の光信号との分波を確実にに行わせる。

【0050】ここで、図 4 を参照して、PMD 補償処理について説明する。図 4 (a) は、PMD 補償前における偏波光と直交偏波光との関係を示し、図 4 (b) は、PMD 補償後における偏波光と直交偏波光との関係を示している。図 4 において、偏波調整部 26 による偏光ビームスプリッタ 27 a に対する偏波調整が正しく行われている場合、偏光 12 の光信号は、偏光 11 の光信号に対する直交偏波成分として表せる。偏光 12 の光信号は、偏光 11 の光信号に対して、PMD 歪みによる遅延差  $\Delta \tau$  分遅延して伝送される。遅延光学系 27 c は、偏光 11 の光信号を遅延差  $\Delta \tau$  分遅延させるので、図 4

(b) に示すように、偏光 11 の光信号と偏光 12 の光信号との遅延差  $\Delta \tau$  は解消され、PMD 歪みは補償されることになる。

【0051】その後、偏光ビームスプリッタ 27 b は、偏光ビームスプリッタ 27 a から直接入力された偏光 12 の光信号と、遅延光学系 27 c から入力された偏光 11 の光信号とを合波し、PMD 補償がなされた光信号として光伝送路 11 上に出力する。その後、さらに、この光信号の一部が光タップ 24 によって取り出され、フィードバックループによる PMD 補償が実行される。

【0052】光伝送路 11 上の各中継スパン毎に生ずる PMD は、一般に、偏波モード間の結合が小さく、また非線形光学効果の影響を無視できる程度のもの、すなわち線形補償ができるものであることを前提に、この実施の形態 1 では、線形の PMD 補償回路 13 を各中継スパン毎に設けている。この結果、PMD 補償回路 13 は、光信号が、PMD 補償処理を行うことができない程の PMD を受ける前に、確実に PMD 補償を行うようにしているので、受信器 14 は、送信器 10 によって送信された光信号波形を確実に再現することができる。

【0053】したがって、一つの中継スパンの距離による光信号の PMD が、PMD 補償回路 13 によって補償することができないものである場合には、PMD 補償回路 13 が PMD 補償できる距離毎に、この PMD 補償回路 13 を設置するようにすればよい。

【0054】また、この実施の形態 1 では、PMD 補償回路 13 を光伝送路 11 上にそれぞれ独立させて設けるようにしているが、各 PMD 補償回路 13 をそれぞれ光増幅中継器 12 内に設けるようにしてもよい。このような構成とすることによって、たとえば光伝送路 11 上の各部を可能な限り一纏めにした構成ができ、PMD 補償回路 13 および光増幅中継器 12 のそれぞれに要求される耐圧性能、耐水性能等の耐環境構成を簡易な構成とすることができる。

【0055】また、上述した実施の形態 1 では、光伝送路 11 上に PMD 補償回路 13 を設けているが、受信器 14 内の図示しない光増幅器内に PMD 補償回路を設け、光信号の PMD を補償するようにしてもよい。

【0056】この実施の形態 1 によれば、偏波モード間のパワー結合が小さく、また非線形光学効果の影響を無視できる程度の PMD が生成される光伝送路の距離毎に、PMD 補償回路 13 を設け、PMD が拡大する前に線形の PMD 補償を行うようにしているので、光伝送路 11 上で発生した PMD による光信号の波形劣化を確実に抑圧することができ、受信器 14 は光信号波形の再現を確実に行うことができる。

【0057】実施の形態 2. つぎに、この発明の実施の形態 2 について説明する。実施の形態 1 では、偏波モード間のパワー結合が小さく、また非線形光学効果の影響を無視できる程度の PMD が生成される各中継スパン毎に PMD 補償回路 13 を設けるようにしていたが、この実施の形態 2 では、さらに受信器 14 の直前あるいは受信器 14 の近傍の光伝送路 11 上に PMD 補償回路 13 を設けるようにしている。

【0058】図 5 は、この実施の形態 2 における光伝送システムの全体構成を示す図である。図 5 において、この光伝送システムでは、受信器 14 の直前の光伝送路 11 上に実施の形態 1 に示した PMD 補償回路 13 と同じ構成の PMD 補償回路 13 f を設けている。その他の構成は、実施の形態 1 と同じ構成であり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0059】送信器 10 から光伝送路 11 を介して PMD 補償回路 13 f に至るまでに、光信号の PMD は、PMD 補償回路 13 (13 a ~ 13 e) によって PMD 補償されるが、PMD 補償回路 13 f は、さらに、この PMD 補償された光信号に残る PMD を最終段階として PMD 補償し、この PMD 補償された光信号を受信器 14 に出力する。

【0060】この実施の形態 2 によれば、光信号の PMD 補償を受信器 14 の直前あるいは近傍で行うようにしているので、受信器 14 は光信号波形の再現を一層確実に行うことができる。特に、光伝送路 11 上の PMD は時間的に変動するため、各 PMD 補償回路 13 a ~ 13 e が PMD の時間的な変動に追従することができない可能性もあり、このような場合に補償することができなかった PMD を確実に補償することができる。

【0061】実施の形態 3. つぎに、この発明の実施の形態 3 について説明する。この実施の形態 3 では、上述した実施の形態 2 の構成に対し、さらに光伝送路 11 の送信器 10 端あるいは近傍に、受信器 14 端における光信号の PMD による影響が最小となるように光信号の偏波面を調整する偏波調整部を設けるようにしている。

【0062】図 6 は、この実施の形態 3 における光伝送システムの全体構成を示す図である。図 6 において、こ

の光伝送システムでは、光伝送路 11 の送信器 10 端に偏波調整部 26 を設けるようにしている。偏波調整部 26 は、受信器 14 端における光信号の PMD あるいは受信器 14 自体が検出する PMD 歪み量が最小となる偏波面に調整し、この調整した光信号を光伝送路 11 上に送信するようにしている。その他の構成は、実施の形態 2 と同じ構成であり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0063】偏波調整部 26 による偏波面の調整は、この光伝送システムの光伝送路を敷設した時に予め PMD の影響が最小となる偏波面を決定する。偏波調整部 26 は、この決定された偏波面をもつ光信号を光伝送路 11 上に送信する。なお、PMD の時間的変動が大きい場合には、他の通信手段あるいは他の光伝送路を用いて、常時あるいは定期的に偏波面調整を行うようにしてもよい。

【0064】この実施の形態 3 によれば、光伝送路 11 の送信器 10 端に偏波調整部 26 を設けて、受信器 14 における PMD の影響が最小となる偏波面をもつ光信号を送信するようにしている。光伝送路 11 上において発生する PMD による波形歪みを最小限に抑えることができ、受信器 14 は光信号波形の再現を一層確実に行うことができる。

【0065】実施の形態 4. つぎに、この発明の実施の形態 4 について説明する。上述した実施の形態 1～3 では、光信号が多重化されていない信号であることを前提として説明したが、この実施の形態 4 では、光伝送システムの光信号が波長多重化された光波長多重信号である場合においても実施の形態 1～3 に示した PMD 補償を行えるようにしている。

【0066】図 7 は、この実施の形態 4 である光伝送システムの PMD 補償回路の構成を示す図である。この PMD 補償回路 30 は、実施の形態 1～3 における PMD 補償回路 13 のそれぞれに代えて配置され、その他の構成は、実施の形態 1～3 に示した構成と同じである。

【0067】図 7 において、光伝送路 11a には、光波長多重数が「 $n$ 」である光波長多重信号が伝送され、この光波長多重信号は PMD 補償回路 30 に入力される。PMD 補償回路 30 は、分波器 31 と、光波長多重数に対応した PMD 補償回路 33-1～33- $n$  と、合波器 32 とを有する。分波器 31 は、光波長多重された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 。あるいはこれに対応する各チャネル毎に分波する。各 PMD 補償回路 33-1～33- $n$  は、実施の形態 1～3 で示した PMD 補償回路 13 と同じ構成であり、分波器 31 によって分波された各波長毎に PMD 補償を行い、PMD 補償された光信号を合波器 32 に出力する。合波器 32 は、PMD 補償回路 33-1～33- $n$  から出力された  $n$  本の光信号を合波し、光伝送路 11b 上に出力する。

【0068】この実施の形態 4 によれば、光波長多重信

号であっても各チャネルに対応した各波長毎に PMD 補償を行うようにしている。実施の形態 1～3 と同様に、光波長多重信号である光信号の PMD 補償を確実に、受信器 14 における光波長多重毎の光信号波形の再現を確実に行うことができる。

【0069】実施の形態 5. つぎに、この発明の実施の形態 5 について説明する。上述した実施の形態 4 では、光波長多重化された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 。毎に PMD 補償を行うようにしていたが、この実施の形態 5 では、所定ブロック単位の波長毎にまとめ、このまとめたブロック単位で PMD 補償を行うようにしている。

【0070】図 8 は、この実施の形態 5 である光伝送システムの PMD 補償回路の構成を示す図である。この PMD 補償回路 40 は、実施の形態 1～3 における PMD 補償回路 13 のそれぞれに代えて配置され、その他の構成は、実施の形態 1～3 に示した構成と同じである。

【0071】図 8 において、光伝送路 11a には、光波長多重数が「 $n$ 」である光波長多重信号が伝送され、この光波長多重信号は PMD 補償回路 40 に入力される。PMD 補償回路 40 は、分波器 41 と、PMD 補償回路 43-1～43-1 と、合波器 42 とを有する。分波器 41 は、光波長多重された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 。あるいは各チャネルを複数の波長あるいは複数のチャネルにまとめたブロック毎に、光波長多重信号を分波する。ブロック数「1」に対応した PMD 補償回路 43-1～43-1 は、各ブロックの光信号に対する PMD 補償を行う。たとえば、PMD 補償回路 43-1 は、分波器 41 によって分波され、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 。を有した一つの光信号に対する PMD 補償を行う。この PMD 補償回路 43-1～43-1 の構成は、実施の形態 1～3 に示した PMD 補償回路 13 と同じ構成である。合波器 42 は、各 PMD 補償回路 43-1～43-1 によって PMD 補償された各光信号を合波し、光伝送路 11b 上に出力する。

【0072】この実施の形態 5 によれば、光波長多重信号を複数の波長あるいは複数のチャネル毎にブロック化して分波し、分波されたブロック毎の光信号に対して PMD 補償を行うようにしている。PMD 補償回路の数を減少させることができ、PMD 補償回路の小型化を促進することができる。

【0073】実施の形態 6. つぎに、この発明の実施の形態 6 について説明する。上述した実施の形態 5 では、光波長多重化された各波長  $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 。を所定ブロック単位の波長毎に分波し、この分波された光信号毎に PMD 補償を行うようにしていたが、この実施の形態 6 では、ブロック化を行う際に所望の波長あるいはチャネルをまとめてブロック化を行うようにしている。

【0074】図 9 は、この実施の形態 6 である光伝送システムの PMD 補償回路の構成を示す図である。この PMD 補償回路 50 は、実施の形態 1～3 における PMD 補償回路 13 のそれぞれに代えて配置され、その他の構

成は、実施の形態1～3に示した構成と同じである。

【0075】図9において、光伝送路11aには、光波長多重数が「n」である光波長多重信号が伝送され、この光波長多重信号はPMD補償回路50に入力される。PMD補償回路50は、分波器51と、ブロック数「1」の合波器54-1～54-1と、ブロック数「1」のPMD補償回路53-1～53-1と、合波器52とを有する。分波器51は、光波長多重された各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 。毎あるいは各チャンネル毎に分波する。合波器54-1～54-1は、所望の複数の波長あるいは所望の複数のチャンネルをまとめたブロック毎に、分波器51によって分波された光信号を合波する。ブロック単位で合波された光信号は、各合波器54-1～54-1に対応するPMD補償回路53-1～53-1に入力され、各PMD補償回路の光信号に対するPMD補償を行う。

【0076】なお、図9においては、PMD補償回路53-1は、実施の形態5と同様に、分波器51によって分波され、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 。を有した一つの光信号に対するPMD補償を行うようにしているが、この実施の形態6では、任意の波長あるいはチャンネルを組み合わせたブロック化を行うことができる。また、このPMD補償回路53-1～53-1の構成は、実施の形態1～3に示したPMD補償回路13と同じ構成である。合波器52は、各PMD補償回路53-1～53-1によってPMD補償された各光信号を合波し、光伝送路11b上に出力する。

【0077】この実施の形態6によれば、光波長多重信号のうちの所望の複数の波長あるいは所望の複数のチャンネルを合波する合波器54-1～54-1を設けてブロック化を行い、このブロック化に対応したブロック数のPMD補償回路53-1～53-1によってPMD補償を行うようにしているので、各PMD補償回路53-1～53-1の数を減少し、PMD補償回路50全体の小型化を促進できるとともに、合波器54-1～54-1によって任意の組合せをもった波長あるいはチャンネルをまとめてブロック化するため、たとえば、隣接しない波長あるいはチャンネルどうし、または同じ偏波方向をもつ波長あるいはチャンネルの信号どうしをブロック化するなどの柔軟なPMD補償処理を行うことができる。

【0078】実施の形態7. つぎに、この発明の実施の形態7について説明する。上述した実施の形態6では、光波長多重化された各波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ 。の各光信号のうちの所望の波長あるいはチャンネルをまとめて合波するブロック化を行うようにしていたが、この発明では、合波器54-1～54-1の代わりに、分波された光信号のうちの直交する光信号に対する偏波合成を行わせ、この偏波合成した光信号毎にPMD補償を行うようにしている。

【0079】図10は、この実施の形態7である光伝送システムのPMD補償回路の構成を示す図である。このPMD補償回路60は、実施の形態1～3におけるPMD補償回路13のそれぞれに代えて配置され、その他の構成は、実施の形態1～3に示した構成と同じである。

【0080】図10において、光伝送路11aには、光波長多重数が「n」である光波長多重信号が伝送され、この光波長多重信号はPMD補償回路60に入力される。PMD補償回路60は、分波器61と、ブロック数「1」の偏波合成部64-1～64-1と、ブロック数「1」のPMD補償回路63-1～63-1と、合波器62とを有する。分波器61は、光波長多重された各波長 $\lambda_{51} \sim \lambda_{5n}$ 。毎あるいは各チャンネル毎に分波する。偏波合成部64-1～64-1は、所望の複数の波長あるいは所望の複数のチャンネルをまとめたブロック化を行うが、分波されて入力された各波長の光信号が略直線偏光であり、それぞれ直交している場合、合成された光信号は、偏光消光比を保持することになる。特に、波長多重に際し、隣接する各波長あるいは各チャンネルの偏光方向に直交関係を持たせて配置する場合、あるいは少なくとも偏光方向に直交関係を持たせて全波長あるいは全チャンネルを配置する場合、偏光消光比を保持した合波が可能となる。

【0081】この偏波合成部64-1～64-1によって偏波合成されたブロック単位の光信号は、各偏波合成部64-1～64-1に対応するPMD補償回路63-1～63-1に入力され、各PMD補償回路63-1～63-1は、PMD補償を行う。なお、このPMD補償回路63-1～63-1の構成は、実施の形態1～3に示したPMD補償回路13と同じ構成である。合波器62は、各PMD補償回路63-1～63-1によってPMD補償された各光信号を合波し、光伝送路11b上に出力する。

【0082】この実施の形態7によれば、直交する偏光方向をもった波長あるいはチャンネル構成をもった光波長多重信号が入力される場合、偏波合成部64-1～64-1が直交する偏光方向をもった波長あるいはチャンネルどうしにブロック化し、それぞれ偏波合成を行った光信号を生成し、この光信号毎にPMD補償を行うようにしているので、偏光消光比を保持した光信号にブロック化することができ、PMD補償を確実に行うことができる。

【0083】なお、上述した実施の形態4～7における各PMD補償回路30～60内の光接続回線を偏波保持ファイバによって構成するようにしてもよい。これによって、各光学部品間の偏波が保持されるので光分波あるいは光合成等の処理を容易かつ確実に行うことができる。

【0084】実施の形態8. つぎに、この発明の実施の形態8について説明する。上述した実施の形態1～7で

は、いずれも各PMD補償回路13、30～60内においてPMDを検出し、この検出したPMDを補償するようにしていたが、この実施の形態8では、受信器14において検出したPMDによって各PMD補償回路13、30～60を制御し、受信時における伝送品質特性が最良となるようにしている。この場合、各PMD補償回路13、30～60には、PMDを検出するための光タップ24とPMD検出器23、および制御回路22は設けられない。

【0085】図11は、この実施の形態8である光伝送システムの構成の一部を示す図である。図11に示したPMD光補償回路70は、実施の形態1～7におけるPMD補償回路13、30～60が配置される箇所に配置される。ただし、このPMD光補償回路70は、PMD補償回路13、30～60と異なり、PMD補償光回路21のみによって構成される。

【0086】図11において、PMD検出部71は、受信器14が受信した光信号波形をもとにPMDを検出する。PMD制御回路72は、PMD検出部71の検出結果をもとに光伝送路上11に配置された各PMD光補償回路70によるPMD補償の制御を行い、受信時における伝送品質特性が最良となるようにする。このPMD制御回路72の構成は、制御回路22の構成と同じであり、各PMD補償光回路21に対応して設けられる。PMD光補償回路70の構成は、PMD補償光回路21と同じである。

【0087】なお、この実施の形態8では、PMD制御回路72を受信器14側に設けるようにしているが、PMD制御回路72をそれぞれPMD光補償回路70内に設けるようにしてもよい。

【0088】また、実施の形態3では偏波調整部26を送信器10端に設けるようにしているが、PMD制御回路72が、この偏波調整部26に対する偏波調整制御を行うようにしてもよい。

【0089】この実施の形態8によれば、受信器14におけるPMDをもとに光伝送路11上の各PMD光補償回路70を制御してPMD補償するようにしているので、受信時における伝送品質特性が最良の状態となり、しかも各PMD光補償回路70の構成をも最小限の構成とすることができ、各PMD光補償回路70の小型化を促進することができる。

【0090】実施の形態9。つぎに、この発明の実施の形態9について説明する。上述した実施の形態1～8におけるPMD補償回路13、30～70では、いずれも最終的に偏光ビームスプリッタ27bによる偏波合成によって、遅延差 $\Delta\tau$ が補償され、一定の偏光状態をもった光信号として出力されていたが、この実施の形態9では、さらに、この偏光ビームスプリッタ27bから出力された光信号あるいは偏光ビームスプリッタ27bから出力された光信号を合波した光信号の偏光状態を所望の

偏光状態に調整して出力するようにしている。

【0091】図12は、この実施の形態9である光伝送システムの構成の一部を示す図である。図12に示した偏波調整部80は、各PMD補償回路13と光増幅中継器12との間の光伝送路11上に配置される。偏波調整部80は、前段のPMD補償回路13から出力されるPMD補償された光信号をさらに偏波調整することによって、後段の光伝送路並びに光増幅中継器に対して最適な偏波状態にした上で、光伝送路11に出力する。

【0092】したがって、偏波調整部80から出力される偏光状態は常に一定の状態に調整することができるので、たとえば、後段の光増幅中継器12b内の光増幅器で用いられる励起用光レーザの偏光方向に対して直交する偏光方向をもつ光信号を光増幅器に出力することができる。光増幅中継器12b内の光増幅器では、入力される増幅対象の光信号の偏光方向と、励起用光レーザの偏光方向とが直交関係にあると最適な増幅動作を行えるものがある。このような光増幅器の場合には、偏波調整部80によって、入力する光信号の偏光方向を、励起用光レーザの偏光方向と直交するような偏光状態に調整して出力することによって、光増幅器の増幅を最適動作させることができる。

【0093】なお、光増幅器の特性が、入力される増幅対象の光信号の偏光方向と励起用光レーザの偏光方向とが同一偏波方向である場合に最適動作する場合、偏波調整部80は、光信号の偏光方向を励起用光レーザの偏光方向に一致するように調整して出力する。

【0094】また、上述した偏波調整部80による偏波方向の調整は、光増幅器に対する動作の一例として示したが、これに限らず、偏波方向の調整が、後段の光増幅中継器12bの機能あるいは性能向上につながるのであれば、偏波調整部80は、その機能あるいは性能向上に対応した偏光方向をもつ光信号として出力すればよい。

【0095】この実施の形態9によれば、PMD補償回路13によってPMD補償された光信号をさらに偏波調整部80によって偏波面調整するようにしているので、さらに後段の光伝送路におけるPMDの影響が小さくなるよう偏波面調整をした光信号として出力することができる。偏波調整部80は、任意の偏光方向をもった光信号として出力することができるので、たとえば後段の光増幅器に用いられる励起用光レーザの偏光方向に直交する偏波方向をもった光信号に調整出力することによって、光増幅器を最適動作させることができる。

【0096】実施の形態10。つぎに、この発明の実施の形態10について説明する。上述した実施の形態9では、偏波調整部80をPMD補償と光増幅器の安定動作のために設けていたが、この実施の形態10では、この偏波調整部80を実施の形態3で示した偏波調整部26と同様に、受信器14におけるPMDによって生じる光信号歪みが最小となるような偏光方向に光信号を調整す

る。

【0097】図13は、この実施の形態10である光伝送システムの構成の一部を示す図である。図13に示した最小PMD設定用偏波調整部90は、各PMD補償回路13と光増幅中継器12との間の光伝送路11上に配置される。最小PMD設定用偏波調整部90は、前段のPMD補償回路13から出力されるPMD補償された光信号をさらに偏波調整することによって、後段の光伝送路においてPMDの影響が小さくなるような偏波状態にし、光伝送路11上に出力する。この点は、実施の形態9における偏波調整部80と同じ作用を有する。

【0098】しかし、最小PMD設定用偏波調整部90による偏波方向は、受信器14において最もPMDの影響が小さくなるような偏波方向に予め調整される。最小PMD設定用偏波調整部90によって、光伝送路11上の複数箇所、たとえば中継スパン毎に後段の光伝送路で光信号が受けるPMDの影響が小さくなるように調整される。このため、実施の形態3に示した偏波調整部26の作用効果を一層高めることができるとともに、後段の光伝送路で光信号が受けるPMDの影響を小さくするようにしているため、PMD補償距離を長くすることができ、光伝送路11上に設けるPMD補償回路13の設置個数を減少させることができる。極言すれば、最小PMD設定用偏波調整部90のみの設置によって光伝送路で光信号が受けるPMDの影響を減少させ、PMD補償回路13を設けなくてもよい中継スパン等の光伝送区間とすることができる。

【0099】この実施の形態10によれば、PMD補償回路13によってPMD補償された光信号をさらに最小PMD設定用偏波調整部90によって偏波調整するようにしているので、さらに後段の光伝送路でPMDによって受ける影響が小さいような偏波状態の光信号として出力することができるとともに、最小PMD設定用偏波調整部90の設置によってPMD補償すべき距離を長くことができ、PMD補償回路13の削減を行うことができ、光伝送システム全体を簡易な構成とすることができる。

【0100】なお、上述した実施の形態1～10において、PMD補償回路13、30～60、PMD光補償回路70、偏波調整部80、最小PMD設定用偏波調整部90を、これらに近接する光増幅中継器12内に含めて構成するようにしてもよい。これにより、耐圧性、耐水性等を満足する筐体数を少なくした光伝送システムを実現することができる。

【0101】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、1以上の光増幅中継器を有した光伝送路上における1以上の中継スパン毎に偏波モード分散補償を行う補償手段を設け、中継スパンの光伝送路間において生じた偏波モード分散の補償を行う。中継スパンの光伝送路間

は、偏波モード間のパワー結合が小さく、また非線形光学効果の影響を無視できる程度の偏波モード分散が生ずるのみであるので、確実に偏波モード分散の補償を行うことができるようにしているので、偏波モード分散による光信号の波形劣化を確実に抑圧し、光受信器は光信号波形の再現を確実に行うことができ、光伝送路上で生じるビット誤り率を低下させることができるという効果を奏する。

【0102】つぎの発明によれば、補償手段を、偏波モード間の結合度合いに応じた偏波モード分散補償が可能な光伝送距離範囲毎に設け、光伝送路上に生じた偏波モード分散の補償を行い、確実に偏波モード分散の補償を行うようにしているので、偏波モード分散による光信号の波形劣化を確実に抑圧し、光受信器は光信号波形の再現を確実に行うことができ、光伝送路上で生じるビット誤り率を低下させることができるという効果を奏する。

【0103】つぎの発明によれば、波長分波器が、入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャネル毎に分波し、偏波モード分散補償手段が、前記波長分波器によって分波された光信号に対する偏波モード分散補償を行い、波長合波器が、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号を合波して出力し、光波長多重信号の偏波モード分散補償を行うようにしているので、光伝送路上に伝搬される光信号が光波長多重信号であっても、偏波モード分散による光信号の波形劣化を確実に抑圧し、光受信器は光信号波形の再現を確実に行うことができ、光伝送路上で生じるビット誤り率を低下させることができるという効果を奏する。

【0104】つぎの発明によれば、波長分波器が、入力された光波長多重信号を所定波長もしくは所定チャネル毎のブロック単位に分波し、偏波モード分散補償手段が、前記波長分波器によって分波された各ブロック単位の光信号に対する偏波モード分散補償を行い、波長合波器が、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力し、光波長多重信号の偏波モード分散補償を行うようにしているので、光伝送路上に伝搬される光信号が光波長多重信号であっても、偏波モード分散による光信号の波形劣化を確実に抑圧し、光受信器は光信号波形の再現を確実に行うことができ、光伝送路上で生じるビット誤り率を低下させることができるとともに、偏波モード分散補償をブロック単位で行うため、偏波モード分散補償手段の個数を削減することができ、補償手段を小型化することができるという効果を奏する。

【0105】つぎの発明によれば、波長分波器が、入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャネル毎に分波し、第1の波長合波器が、前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャネル毎の光信号を所定ブロック毎に合波し、偏波モード分散補償手段が、

前記第1の波長合波器によって合波された光信号に対する偏波モード分散補償を行い、第2の波長合波器が、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力し、光波長多重信号の偏波モード分散補償を行う。この場合、第1の波長合波器は、波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャンネル毎の光信号のうちの任意の組合せをもった波長あるいはチャンネルをまとめてブロック化して合波することができ、たとえば、隣接しない波長あるいはチャンネルどうしをブロック化することができる。このため、光伝送路上に伝搬される光信号が光波長多重信号であっても、偏波モード分散による光信号の波形劣化を確実に抑圧し、光受信器は光信号波形の再現を確実に行うことができ、光伝送路上で生じるビット誤り率を低下させることができ、偏波モード分散を任意の波長またはチャンネルを選択してブロック化するため、偏波モード分散補償手段の個数が削減され、補償手段を小型化できるとともに、柔軟な偏波モード分散補償を行うことができるという効果を奏する。

【0106】つぎの発明によれば、第1の波長合波器が、波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャンネル毎の光信号のうち同一偏波方向をもつ光信号を所定ブロック毎に合波し、この所定ブロック単位で偏波モード分散補償を行うようにしているので、光波長多重信号の波長多重状態に応じて、一層、補償手段の小型化を実現できるとともに、効率的な偏波モード分散補償を行うことができるという効果を奏する。

【0107】つぎの発明によれば、波長分波器が、入力された光波長多重信号を各波長毎もしくは各チャンネル毎に分波し、偏波合成手段が、前記波長分波器によって分波された各波長毎もしくは各チャンネル毎の光信号のうちの互いに直交する偏光をもつ光信号を所定ブロック毎に合波し、偏波モード分散補償手段が、前記偏波合成手段によって合波された光信号に対する偏波モード分散補償を行い、第2の波長合波器が、前記偏波モード分散補償手段によって補償された各ブロック毎の光信号を合波して出力し、光波長多重信号の偏波モード分散補償を行う。この場合、偏波合成手段は、直交する偏光方向をもった波長あるいはチャンネル構成をもった光波長多重信号が入力される場合、直交する偏光方向をもった波長あるいはチャンネルどうしにブロック化し、それぞれ偏波合成を行う。このため、光伝送路上に伝搬される光信号が光波長多重信号であっても、偏波モード分散による光信号の波形劣化を確実に抑圧し、光受信器は光信号波形の再現を確実に行うことができ、光伝送路上で生じるビット誤り率を低下させることができ、偏波モード分散を偏波合成手段によって、任意の波長またはチャンネルを選択してブロック化するため、偏波モード分散補償手段の個数が削減され、補償手段を小型化できるとともに、柔軟な偏波モード分散補償を行うことができ、特に

直交する偏光方向をもった波長あるいはチャンネルどうしをブロック化する場合、偏光消光比を保持した光信号として出力することができるため、一層、偏波モード分散補償を確実に行うことができるという効果を奏する。

【0108】つぎの発明によれば、補償手段を光伝送路の終端または終端近傍、すなわち、光受信器の直前に設け、最終的に残った偏波モード分散を補償するので、確実に偏波モード分散補償を行うことができ、偏波モード分散による光信号の波形劣化を確実に抑圧し、光伝送路上で生じるビット誤り率を低下させることができるという効果を奏する。

【0109】つぎの発明によれば、偏波調整手段が、前記光伝送路の送信端または送信端近傍に設けられ、光伝送路の終端における光信号の品質劣化が最小となる偏波面をもつ光信号が入力されるように調整するようにしているので、光伝送路上の有するPMDによって生じる光信号品質の劣化を最小限に抑えることができ、補償手段の個数の削減をもたらすとともに、結果的に光信号波形の再現を一層確実に行うことができ、光伝送路上で生じるビット誤り率を低下させることができるという効果を奏する。

【0110】つぎの発明によれば、補償手段内を構成する波長分波器、第1の波長合波器、第2の波長合波器、波長合波器、偏波モード分散補償手段、偏波合成手段を含む各光学部品間を偏波面保持光ファイバで接続し、補償手段内の各光学部品間の偏波を保持するようにしているので、偏波モード分散の補償に必要な光分波あるいは光合成等の処理を容易かつ確実に行うことができるという効果を奏する。

【0111】つぎの発明によれば、光受信器が、検出手段によって当該光受信器における偏波モード分散量を検出し、複数の制御手段が、前記検出手段によって検出された偏波モード分散量を用い、各補償手段または各偏波モード分散補償手段の光学系による前記偏波モード分散量に対応する光遅延差を補正するようにし、光伝送路上に配置される各補償手段または各偏波モード分散補償手段の構成を小型化かつ簡易にするようにしているので、光伝送システム全体の構成を簡易にすることができるという効果を奏する。

【0112】つぎの発明によれば、光増幅用偏波調整手段が、後段の光増幅中継器における光増幅用励起レーザの偏光方向に対応する最適な偏光方向、たとえば後段の光増幅器に用いられる励起用光レーザの偏光方向に直交する偏波方向をもつ光信号に調整して前記後段の光増幅中継器に偏波合成出力し、該光増幅用偏波調整手段から入力される最適な偏光方向をもった光信号によって少なくとも後段の光増幅中継器の光増幅を安定化させるとともに、偏波調整を行うことで、後段の光伝送路でPMDによって生じる光信号歪みが小さくなるようにしているので、PMD補償をさらに確実に行うことができると

もに、任意の偏光方向をもった光信号として出力することによって光増幅器の動作を最適動作させることができるという効果を奏する。

【0113】 つぎの発明によれば、光増幅用偏波調整手段が、補償手段の後段に接続され、PMD補償された光信号を偏波面調整することによって直ちに最適な偏光方向をもった光信号に調整して出力するようにしているので、PMD補償を一層確実に行うことができるという効果を奏する。

【0114】 つぎの発明によれば、最小PMD設定用偏波調整手段が光伝送路上に設けられ、少なくとも光受信器に入力される光信号の品質劣化が最小となる偏波面をもつ光信号が入力されるように該入力される光信号の偏波面を調整するようにしているので、PMDの影響を小さく抑えることができるとともに、偏波モード分散によって生じる信号品質劣化が最小となる偏波面をもつ光信号として伝送されるので、PMD補償すべき距離を長くすることができ、補償手段の個数の削減を行うことができ、光伝送システム全体の構成を簡易にすることができるという効果を奏する。

【0115】 つぎの発明によれば、補償手段を光増幅中継器内、特に光増幅器内に組み込むようにし、補償手段および光増幅中継器のそれぞれに要求される耐圧性能、耐水性能等の耐環境構成をひとつの構成としてまとめるようにしているので、光伝送システムの構成を簡易な構成とすることができるという効果を奏する。

【0116】 つぎの発明によれば、補償手段を光受信器内、特に光増幅器内に組み込むようにし、光受信器に入力された光信号のPMDを補償し、この光信号のPMDによる光信号の品質劣化を最終的に抑えることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1である光伝送システムの全体構成を示す図である。

【図2】 図1に示したPMD補償回路の構成を示すブロック図である。

【図3】 図1に示したPMD補償回路の詳細構成を示す図である。

【図4】 PMD補償回路によるPMD補償動作を説明

する図である。

【図5】 この発明の実施の形態2である光伝送システムの全体構成を示す図である。

【図6】 この発明の実施の形態3である光伝送システムの全体構成を示す図である。

【図7】 この発明の実施の形態4である光伝送システムのPMD補償回路の構成を示すブロック図である。

【図8】 この発明の実施の形態5である光伝送システムのPMD補償回路の構成を示すブロック図である。

【図9】 この発明の実施の形態6である光伝送システムのPMD補償回路の構成を示すブロック図である。

【図10】 この発明の実施の形態7である光伝送システムのPMD補償回路の構成を示すブロック図である。

【図11】 この発明の実施の形態8である光伝送システムの構成の一部を示す図である。

【図12】 この発明の実施の形態9である光伝送システムの構成の一部を示す図である。

【図13】 この発明の実施の形態10である光伝送システムの構成の一部を示す図である。

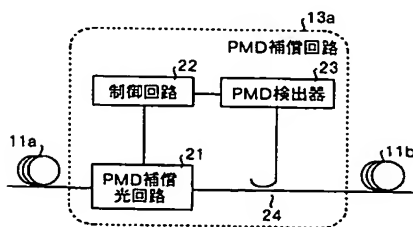
【図14】 NRZ信号の光伝送における1dBペナルティを引き起こす光伝送路のPMDの大きさと光伝送速度との関係を示す図である。

【図15】 PMD補償回路を用いた従来の光伝送システムの構成を示す図である。

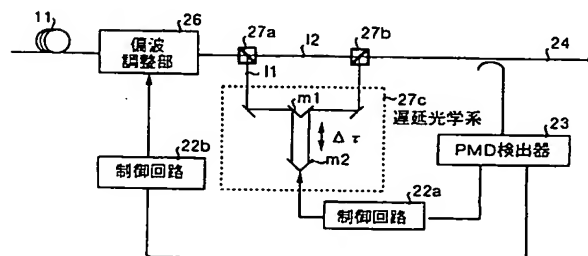
【符号の説明】

10 送信器、11, 11a~11f 光伝送路、12, 12a~12e 光増幅中継器、13, 13a~13f, 30, 33-1~33-n, 40, 43-1~43-1, 50, 53-1~53-1, 60, 63-1~63-1 PMD補償回路、14 受信器、21, 70 PMD補償光回路、22, 22a, 22b 制御回路、23 PMD検出器、24 光タップ、26, 80 偏波調整部、27a, 27b 偏光ビームスプリッタ、27c 遅延光学系、31, 41, 51, 61 分波器、32, 42, 52, 54-1~54-1, 62 合波器、64-1~64-1 偏波合成部、71 PMD検出部、72 PMD制御回路、90 最小PMD設定用偏波調整部。

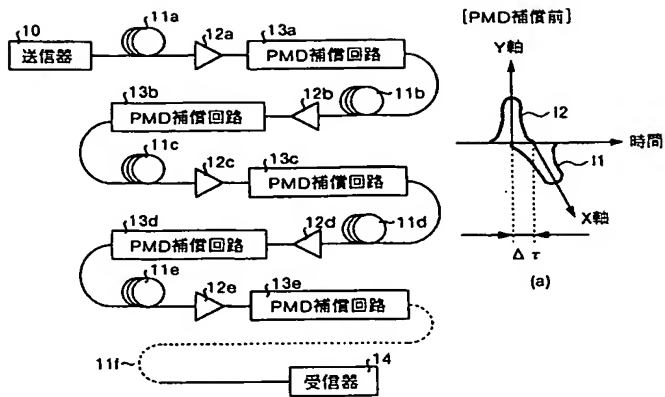
【図2】



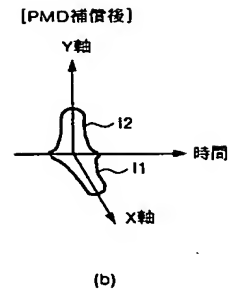
【図3】



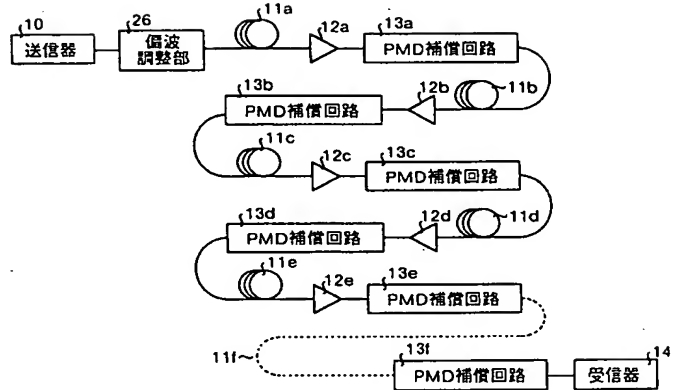
【図1】



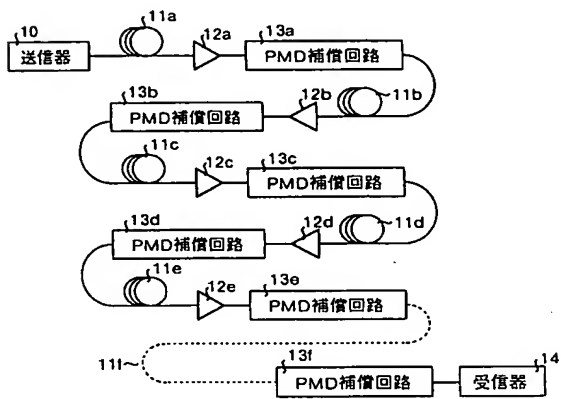
【図4】



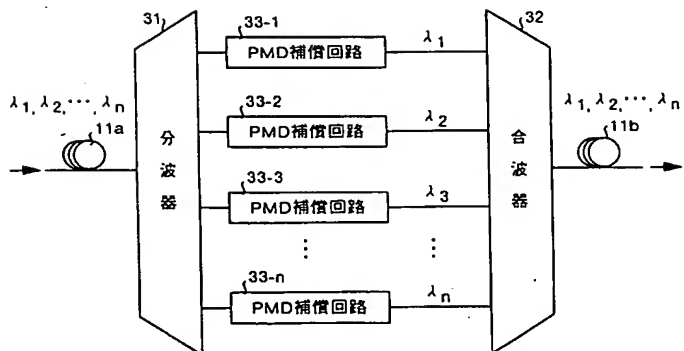
【図6】



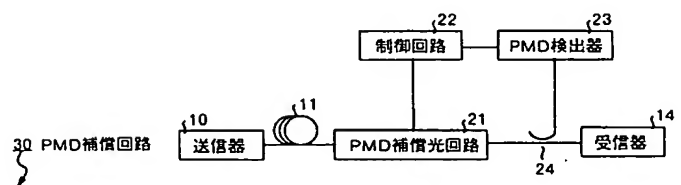
【図5】



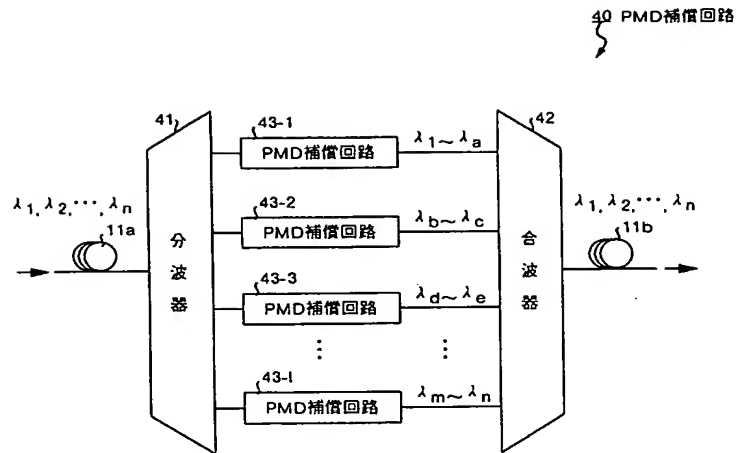
【図7】



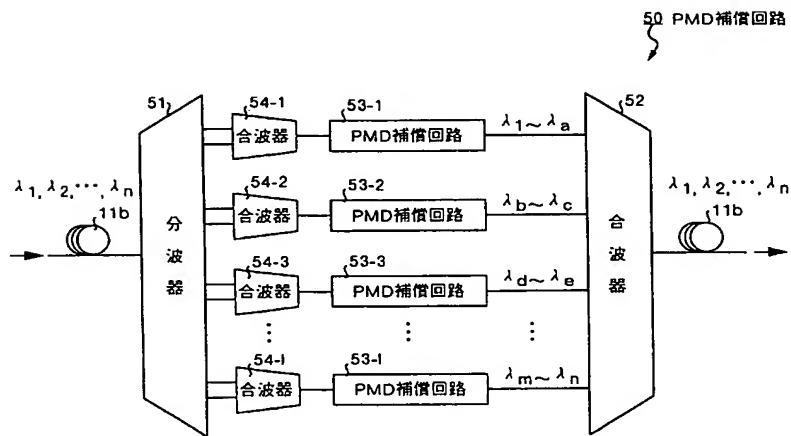
【図15】



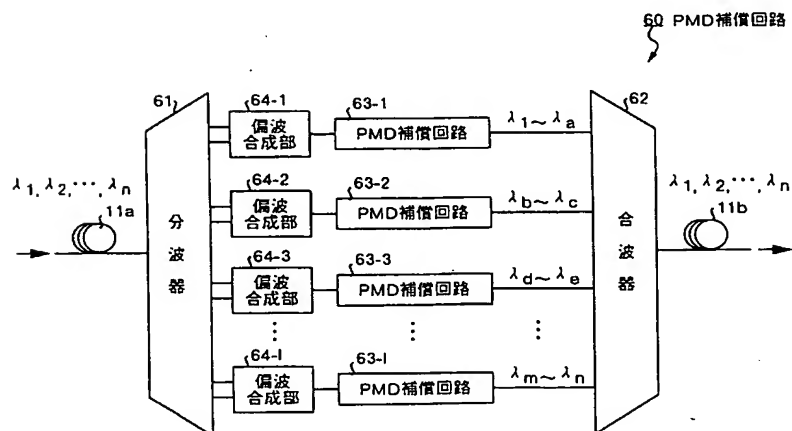
【図 8】



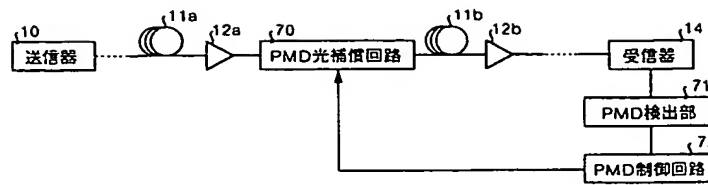
【図 9】



【図 10】



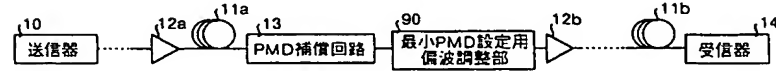
【図11】



【図12】



【図13】



【図14】

